

MPPT Pada Sistem PV Menggunakan Algoritma *Firefly* dan *Modified P&O* dengan Konverter *Hybrid Cuk* terkoneksi ke Grid Satu Phasa di Bawah Kondisi *Partial Shaded*

Dhuhari Chalis Bani, Margo Pujiantara, dan Heri Suryoatmojo

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: dhuhari12@mhs.ee.its.ac.id ; margo@ee.its.ac.id ; suryomgt@ee.its.ac.id

Abstrak— *Photovoltaic* (PV) merupakan sumber energi terbarukan yang paling banyak dijumpai di alam serta merupakan energi alternatif yang sangat pesat perkembangannya. Untuk menghasilkan daya, sebuah PV dipengaruhi sebuah nilai intensitas cahaya matahari yang mengenainya. Sebuah sistem PV membutuhkan sebuah kontrol yang bertujuan untuk meningkatkan efisien daya PV tersebut. Kontrol ini adalah *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) yang dapat mengoptimalkan daya yang dihasilkan oleh PV. Sebuah PV hanya menghasilkan nilai tegangan yang rendah, untuk itu perlu menggunakan konverter DC-DC *step up* untuk menaikkan rasio tegangan DC tadi. Untuk mengoptimalkan sistem ini, diperlukan sebuah konverter yang efisien dan dapat menghasilkan rasio konversi tegangan yang tinggi. Pada penelitian menggunakan *firefly algorithm* (FFA) dan *modified perturb and observe* (P&O) sebagai MPPT untuk mendapatkan nilai daya optimal pada keluaran PV. Konverter DC-DC yang digunakan adalah *hybrid cuk converter boost mode* yang memiliki rasio tegangan yang tinggi. Dari DC-link kemudian masuk ke inverter (VSI) yang diinterkoneksi dengan grid menggunakan *current control*. Hasil analisis simulasi menunjukkan bahwa FFA dan P&O mampu menghasilkan daya PV yang optimum dengan riak yang kecil dan konverter *hybrid cuk converter boost mode* dapat menghasilkan rasio tegangan yang lebih besar dibandingkan konverter cuk biasa.

Kata Kunci — PV, MPPT FFA, MPPT P&O, Hybrid Cuk Converter, DC-Link, Inverter Grid Connected

I. PENDAHULUAN

Bertumbuhnya permintaan energi dan naiknya harga bahan bakar fosil memicu untuk terus dilakukan penelitian tentang peningkatan efisiensi energi terbarukan, terutama sistem PV. Dimana PV adalah alat konversi energi dari cahaya matahari menjadi listrik yang memiliki potensi besar di Indonesia tapi masih memiliki efisiensi yang rendah. Untuk meningkatkan efisien sistem PV dapat dioptimalisasikan pada MPPT dan konverter DC-DC nya.

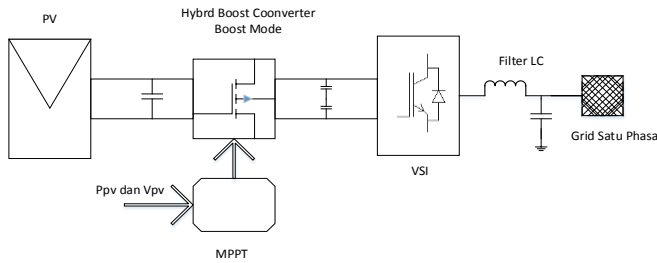
MPPT atau Maximum Power Point Tracker merupakan kontroler yang memiliki algoritma tertentu untuk mencari nilai daya maksimum pada PV. Sudah banyak algoritma yang digunakan sebagai MPPT seperti P&O, *firefly*, *fuzzy control*, RCC dll. Misalnya algoritma P&O yang memiliki keunggulan pada singkatnya waktu untuk mencapai konvergen, tapi

terdapat riak yang besar pada daya PV yang dihasilkan. Selain itu algoritma ini juga tidak dapat mengatasi PV yang berada di bawah kondisi *partial shaded* [1]. Tidak hanya P&O yang memiliki kekurangan, begitu juga metode *firefly*. Algoritma *firefly* memang bisa dimanfaatkan untuk PV yang berada di bawah kondisi *partial shaded*, tapi memiliki waktu konvergen yang lebih lama dari algoritma P&O. Oleh karena ini diajukan sebuah penggabungan antara P&O dan *firefly* menjadi sebuah algoritma yang dapat menyelesaikan *partial shaded* pada PV dengan waktu konvergen yang lebih cepat.

Tidak hanya dari sisi MPPT, tapi sistem PV juga bisa dioptimalkan dengan pemilihan konverter DC-DC yang tepat. Selain digunakan untuk menunjang kerja MPPT, konverter DC-DC juga digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan dari nilai tegangan PV menjadi nilai yang kita inginkan. Konverter DC-DC memiliki banyak jenis, dari yang menaikkan tegangan saja atau menurunkan saja, hingga konverter DC-DC yang bisa menaikkan atau menurunkan tegangan. Sama halnya sebuah algoritma MPPT, setiap jenis konverter juga memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Misalkan sebuah konverter cuk yang memiliki efisiensi yang baik karena dapat meredam osilasi yang dihasilkan dari algoritma P&O. Tapi, konverter cuk memiliki kekurangan karena membutuhkan *duty ratio* yang tinggi untuk mendapatkan konversi tegangan yang tinggi dan menahan osilasi tadi. Menangani permasalahan ini, maka digunakanlah sebuah konverter *hybrid cuk converter* dengan mode meningkatkan tegangan, sehingga mendapatkan konversi tegangan yang lebih tinggi dengan *duty ratio* yang lebih rendah, tapi tetap dapat meredam osilasi karena MPPT.

II. PV TERHUBUNG JARINGAN LISTRIK

Perancangan dan pemodelan sistem dibuat dengan menggunakan SIMULINK/MATLAB. Pemodelan ini terdiri dari PV dengan *Partial Shaded Condition*, *Hybrid Cuk Converter Boost Mode*, *Single Phase Inverter*, filter LC dan jaringan listrik satu phasa.



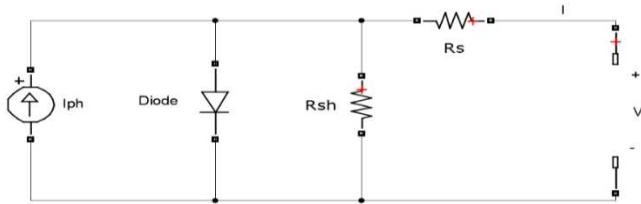
Gambar 1. Skema konfigurasi sistem PV terkoneksi grid

III. PEMODELAN DAN KONTROL

Pemodelan dan kontrol MPPT FFA dan P&O untuk konverter *hybrid cuk boost mode* pada kedua sumber PV diuraikan berikut ini:

A. Model Photovoltaic (PV)

Rangkaian ekivalen sel surya dapat direpresentasikan sebagai sumber arus ideal, dioda, resistansi paralel dan resistansi seri. Arus searah yang dihasilkan dari sumber arus ideal adalah sebanding dengan iradiasi cahaya yang diterima sel surya. Resistansi seri dan paralel merepresentasikan nilai drop tegangan sepanjang sampai kontak terminal luar dan arus bocor sepanjang jalur sel.



Gambar 2. Rangkaian ekivalen sel PV

Arus output yang disalurkan ke beban dari panel PV dirumuskan persamaan berikut:

$$I = I_{SC} - I_0 \left(e^{\frac{q(V+I \times R_S)}{K \times T \times A}} - 1 \right) - \frac{V + I \times R_S}{R_{Sh}} \quad (1)$$

Dimana I adalah arus output dari panel PV (A), V adalah tegangan terminal PV yang diperoleh dari jumlah seri sel PV (V), I_{ph} adalah arus sumber panel PV dari iradiasi cahaya (A), T adalah suhu kerja sel ($^{\circ}\text{K}$), I_0 adalah arus saturasi dioda (A), A adalah faktor kualitas dioda ($A = 1 \sim 2$), q adalah konstanta muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C) dan K adalah konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/ $^{\circ}\text{K}$).

Arus I_{pv} merupakan arus yang dihasilkan dari konversi cahaya yang dirumuskan:

$$I_{ph} = (I_{sc} + K_1(T - T_{ref})) \frac{G}{G_0} \quad (2)$$

Dimana I_{sc} adalah arus *short circuit* pada kondisi standar (25°C , 1.000 W/m^2), K_1 adalah koefisien suhu sel, G dan G_0 adalah iradiasi serta referensi iradiasi (1.000 W/m^2).

Panel PV yang digunakan adalah merk *Canadian Solar CS5P-220M* berdaya puncak 200 Wp sebanyak 6 buah. Penelitian ini menggunakan konfigurasi sistem array PV yang dibentuk dari 2 seri dan 3 paralel panel PV sehingga berdaya

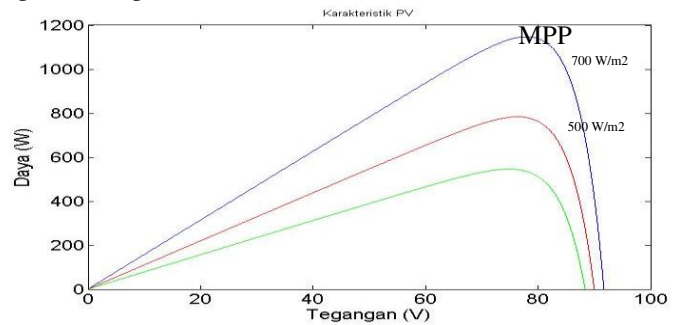
1.2 kWp. *Datasheet* panel PV ditunjukkan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1

Canadian Solar CS5P-200M

Parameter	Nilai
Number of Cells	76
Maximum power	220 W
Maximum power voltage (V_{mp})	37,46 V
Maximum power current (I_{mp})	5,3 A
Open-circuit Voltage (V_{oc})	45,8 V
Short-circuit current (I_{sc})	5,63 V
Light Intensity	1 kW/m ²
Temperature	25 $^{\circ}\text{C}$

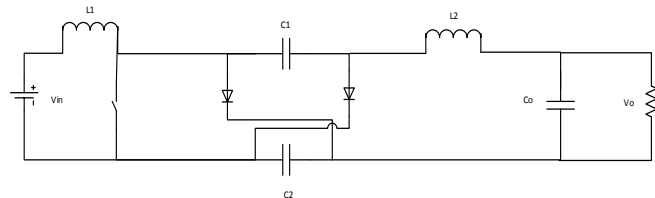
Daya sistem panel surya diperoleh dari hasil perkalian tegangan dan arus PV. Maksimum daya dari panel PV terjadi saat perkalian tegangan (V) dan arus (I) yang maksimum. Titik ini dikenal dengan *Maximum Power Point (MPP)* dan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Karakteristik kurva P-V array panel surya

B. Konverter Hybrid Cuk Boost Mode

Topologi rangkaian konverter *Hybrid Cuk Boost Mode* terdiri dari dua buah induktor, dua buah kapasitor, dua buah dioda, dan satu jenis saklar semikonduktor seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 berikut.

Gambar 4. Skema rangkaian *Hybrid Cuk Boost Mode*

Rasio tegangan input-output yang dihasilkan dirumuskan:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1+D}{1-D} \quad (3)$$

Parameter komponen rangkaian konverter *Hybrid Cuk Boost Mode* yang digunakan pada panel PV menyesuaikan terhadap kapasitas daya dan rentang nilai tegangan input operasi dari kedua sumber tersebut. Dengan menggunakan persamaan (4), (5), (6) dan, (7) berikut [1],

$$L_{1min} = \frac{DT(1+D)^2}{R_o(1-D)^2} \quad (8)$$

$$L_{2min} = \frac{(2+D)(1-D)R_oT}{(1+D)^2} \quad (9)$$

$$C = \frac{V_o^2(1-D)TD}{R_o V_{in} \Delta V_c} \quad (10)$$

$$C_o = \frac{V_o DT}{\Delta V_o R_o} \quad (11)$$

Dengan menggunakan persamaan diatas maka diperoleh parameter induktansi dan kapasitansi pada konverter *hybrid cuk boost mode* sebagai berikut:

Tabel 2
Parameter HGICB pada panel PV

Parameter	Nilai
L ₁ dan L ₂	6.8 mH dan 0.0658 H
C ₁ dan C ₂	45.9 μ F dan 45.9 μ F
C _o	20.8 μ F
Tegangan input, V _{in}	74.92 V
Frekuensi <i>switching</i> , fs	20 kHz

C. Kontrol MPPT FFA dan P&O pada PV

Pada penelitian ini digunakan kontrol MPPT menggunakan FFA dan *modified* P&O. Kontrol MPPT digunakan untuk mencari titik daya maksimum pada setiap nilai intensitas cahaya matahari. Keluaran dari kontrol MPPT adalah berupa *duty cycle* untuk mengatur pensaklaran *hybrid cuk converter boost mode*.

MPPT FFA

Algoritma *firefly* terinspirasi oleh pergerakan kunang-kunang. Pada algoritma ini, ada 3 asumsi yang digunakan:

- 1) semua kunang-kunang adalah *unisex*, sehingga kunang-kunang tertarik dengan kunang-kunang yang lain tidak memperhitungkan jenis kelamin kunang-kunang tersebut.
- 2) Ketertarikan antar kunang-kunang berdasarkan seberapa terang dari kunang-kunang tersebut. Kunang-kunang yang lebih redup maka akan tertarik dan berpindah mendekati kunang-kunang yang lebih terang.
- 3) terang redupnya seekor kunang-kunang ditentukan dalam semua fungsi objektif.

Misalkan ada 2 ekor kunang-kunang, p dan q, yang memiliki jarak r_{pq} dan masing-masing posisi kunang tersebut adalah X_p dan X_q yang merepresentasikan *duty cycle* pada MPPT.

$$r_{pq} = \|X_p - X_q\| \quad (12)$$

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma(r_{pq})^n}, \quad n \geq 1 \quad (13)$$

Dimana β_0 adalah initial derajat ketertarikan, bisanyan bernilai 1.

Asumsikan bahwa kunang-kunang p lebih redup dari pada kunang-kunang q maka, posisi baru akan diperoleh oleh kunang-kunang q sesuai dengan persamaan berikut:

$$X_p^{t+1} = X_p^t + \beta(r)(X_q - X_p) + \alpha(rand - \frac{1}{2}) \quad (14)$$

Rand di dalam persamaan adalah nilai acak yang terdistribusi dari 0 dan 1. Besarnya nilai membuat pergerakan untuk mencari tempat yang jauh dan apabila kecil maka cenderung mencari pada pencarian lokal.

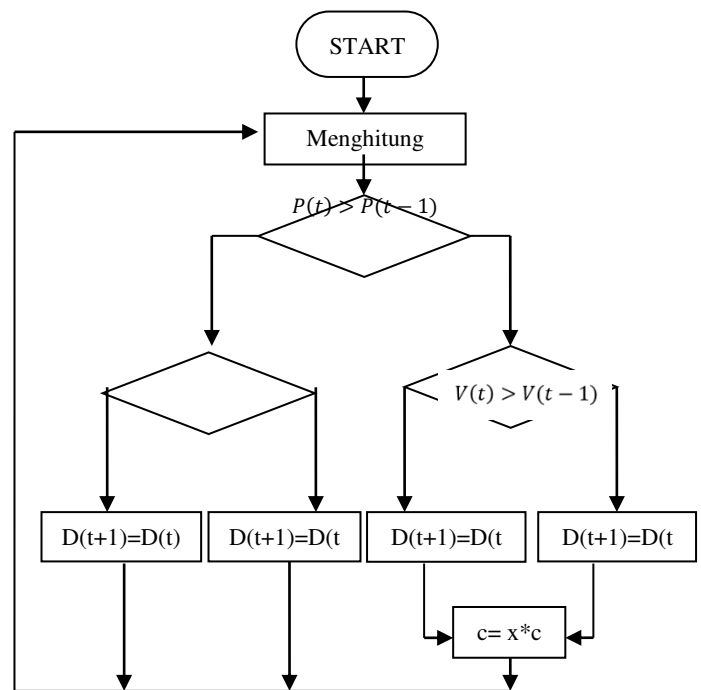
MPPT Modified P&O

Algoritma P&O bekerja berdasarkan observasi pada daya keluaran PV dan memberi gangguan berupa penambahan atau pengurangan daya dengan megubah nilai *duty cycle*.

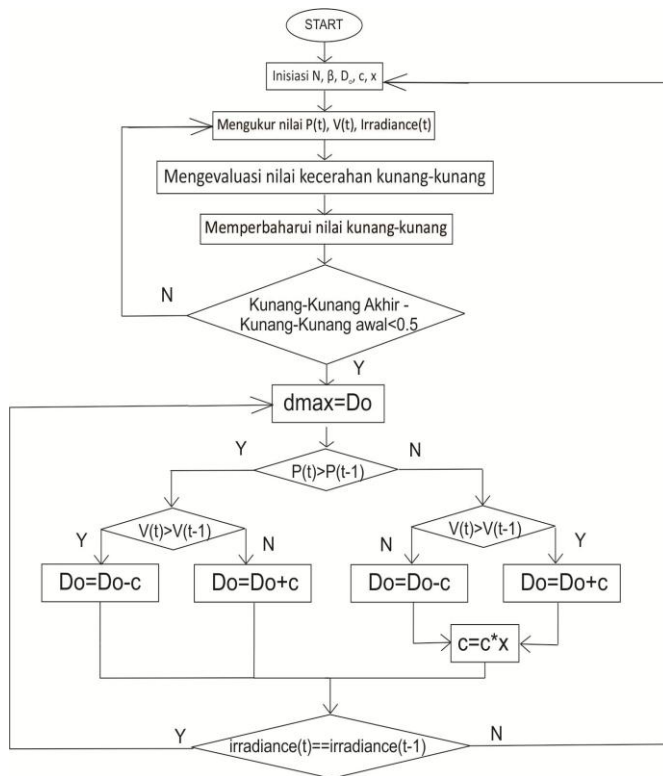
MPPT FFA dan Modified P&O

Pada tugas akhir ini algoritma MPPT yang digunakan adalah algoritma gabungan antara *Firefly Algorithm* (FFA) dan *Perturb and Observe Algorithm* (P&O). Kedua algoritma ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. FFA memiliki keunggulan ketika berada dalam PSC tapi memiliki waktu konvergen yang lebih lama dari pada P&O. Disisi lain, P&O memiliki waktu konvergensi yang cepat tapi memiliki kemungkinan yang lebih besar untuk terjebak pada titik *Local Maximum Power* (LMP) ketika terjadi kondisi PSC [2].

Untuk itu dilakukan penggabungan kedua algoritma ini untuk menghasilkan algoritma yang lebih baik. Pertama kali MPPT ini bekerja, MPPT ini menggunakan algoritma FFA untuk menghindari LMP pada PSC. Kemudian, algoritma akan beralih menjadi P&O ketika rentang antara kunang-kunang (*duty cycle*) awal dan akhir dibawah sudah cukup kecil (sekitar 0.5) [3].



Gambar 5. Diagram alur metode modified P&O

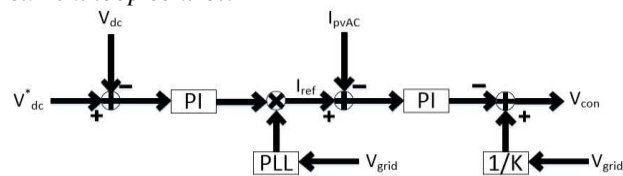


Gambar 6. Diagram alur metode modified P&O

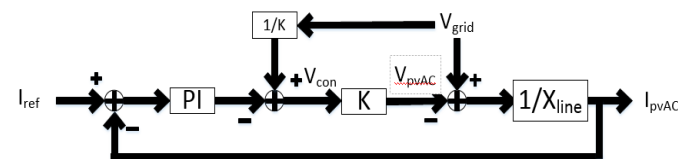
D. Model Inverter (VSI) Satu Fasa Terkoneksi Grid

Untuk mengalirkan daya aktif dari sisi DC ke sisi AC, tegangan DC harus lebih tinggi dari pada nilai tegangan grid. Karena tegangan grid satu fasa adalah $220\sqrt{2}$ V, maka nilai tegangan 400 V pada DC-link sudah cukup untuk memenuhi syarat [4].

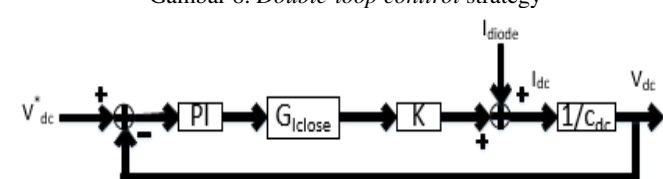
Pada tugas akhir ini menggunakan sebuah *double-loop control* untuk menjaga nilai tegangan DC tetap konstan dan daya aktif, hal ini dikenal sebagai *outer voltage loop* dan *inner current loop control*.



Gambar 7. Double-loop control strategy secara umum



Gambar 8. Double-loop control strategy



Gambar 9. Outer Voltage Loop

Tabel 3
Parameter inverter (VSI)

Parameter	Nilai
Frekuensi switching	10 kHz
Kapasitor DC-link	24 μ F x 2
Tegangan DC-link (V _{dc})	650 V
Tegangan AC (V _{gridLL})	380 V
Frekuensi grid	50 Hz
Filter LC	17,8 μ H dan 5 μ F

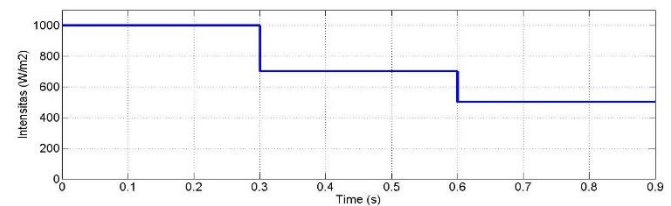
IV. ANALISIS PENGUJIAN SISTEM

Pada sub bab ini akan dilakukan pengujian terhadap PV. Pengujian dilakukan dengan beberapa perubahan intensitas (1000W/m^2 , 700W/m^2 , 500W/m^2) dan kondisi PSC. Perubahan intensitas dan kondisi PSC bertujuan untuk menguji seberapa efisien dari sebuah algoritma MPPT yang digunakan dalam mencari titik daya maksimum PV. Ada dua algoritma MPPT yang akan dibandingkan pada bab ini, yakni algoritma gabungan FFA dan P&O dengan algoritma P&O.

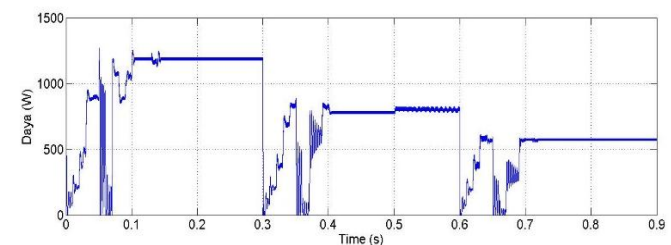
Selain itu, pada bab ini juga akan dilakukan perbandingan konverter DC-DC yang digunakan sebagai media untuk menggiring titik daya PV menuju titik daya maksimum. Pada pengujian ini akan dilakukan perbandingan antara konverter hybrid cuk dengan konverter cuk [5].

A. Performansi MPPT

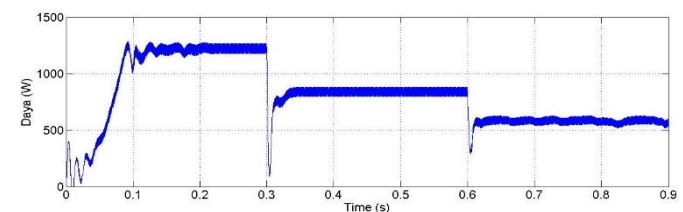
Kurva intensitas cahaya dalam pengujian ditunjukkan oleh gambar 10. Masing-masing nilai intensitas cahaya menghasilkan daya maksimum yang berbeda-beda. Gambar 11 dan gambar12 memperlihatkan nilai daya maksimum dari masing-masing nilai intensitas cahaya.



Gambar 10. Grafik perubahan intensitas



Gambar 11. Grafik daya optimum menggunakan metode FFA dan P&O



Gambar 12. Grafik daya optimum menggunakan metode P&O

Tabel 4
Hasil metode FFA dan P&O

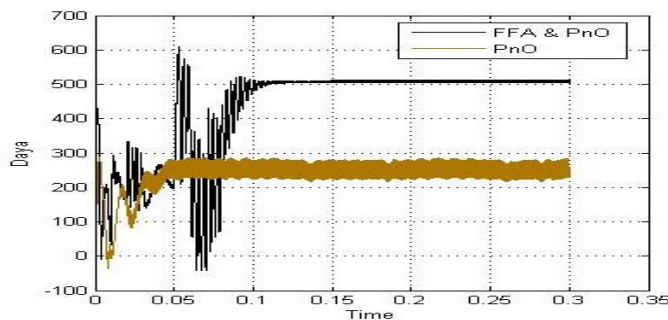
Iradiasi (W/m^2)	Daya Referensi (W)	Daya Aktual (W)	Error Daya (%)
1000	1200	1185	1.25
700	842	800	4.9
500	584	575	1.5

Tabel 5
Hasil metode P&O

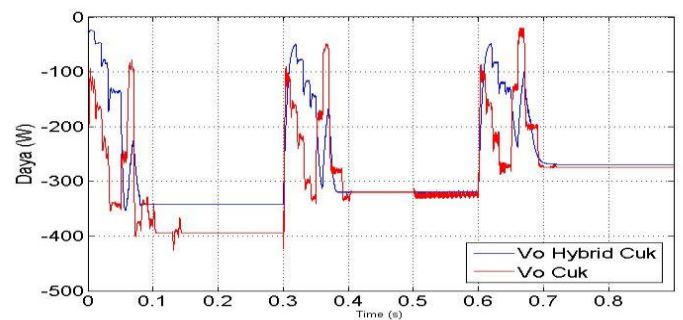
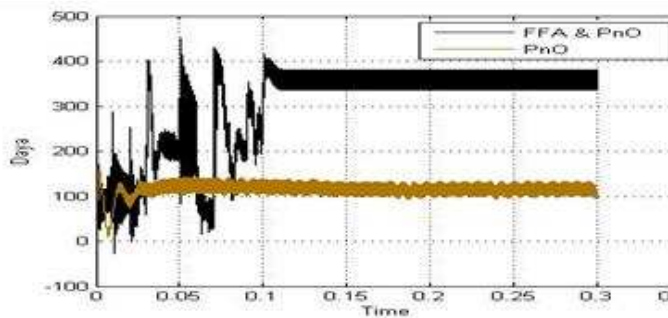
Iradiasi (W/m^2)	Daya Referensi (W)	Daya Aktual (W)	Error Daya (%)
1000	1200	1200	0
700	842	805	4.3
500	584	580	0.68

Dari table 4 dan tabel 5 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan metode gabungan menghasilkan error daya (selisih daya referensi terhadap daya aktual) dan *time convergent* yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan menggunakan metode P&O. Disisi lain dengan menggunakan metode gabung menghasilkan riak daya jauh lebih sedikit dari pada dengan menggunakan metode P&O.

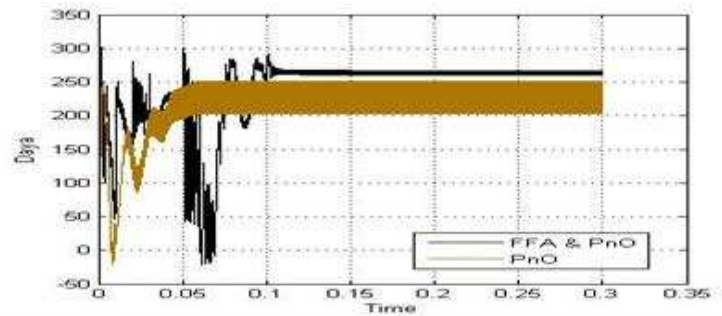
Selain perubahan intensitas cahaya secara seragam pada PV, pada kondisi nyata dapat terjadi ketidak seragaman intensitas cahaya matahari yang mengenai PV. Kondisi ini disebut *Partial Shaded Condition* (PSC). Untuk pengujian dilakukan tiga kasus yang berbeda seperti yang telah disebut pada bab 3. Berikut adalah hasil dari pencarian daya optimum dengan metode gabungan dan metode P&O. Dalam hal ini akan dilakukan dari kedua metode tersebut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 13. Grafik daya optimum pada PSC (a) PSC I (b) PSC II (c) PSC III

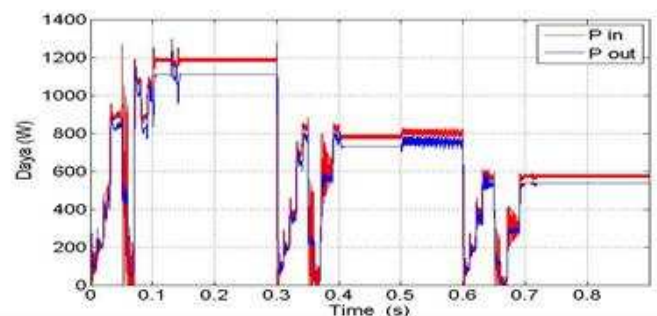
Tabel 6
Hasil Daya pada PSC

Kasus	FFA dan PnO (W)	PnO (W)
PSC I	508	256
PSC II	351	112
PSC III	262	228

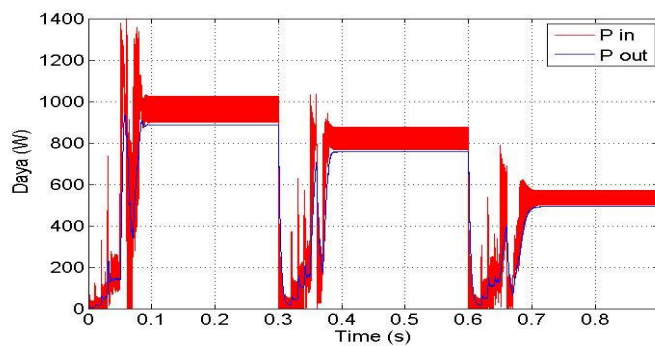
Gambar diatas menunjukkan perbandingan antara metode gabungan dan metode P&O. Terlihat jelas bahwa metode P&O terjebak pada LMP dari PSC, sedangkan metode gabungan tidak terjebak di LMP. Sehingga dengan metode gabungan diperoleh nilai daya lebih optimum.

B. Analisis Pengujian Konverter

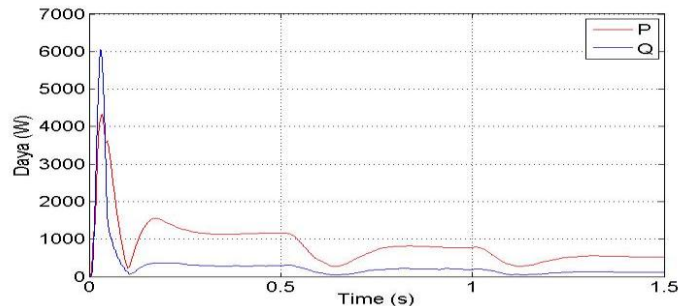
Pada tugas akhir ini dilakukan perbandingan antara *Hybrid Cuk Converter* dan *Cuk Converter*. Perbandingan antara 2 konverter ini ditinjau dari riak tegangan dan *error* daya konverter.



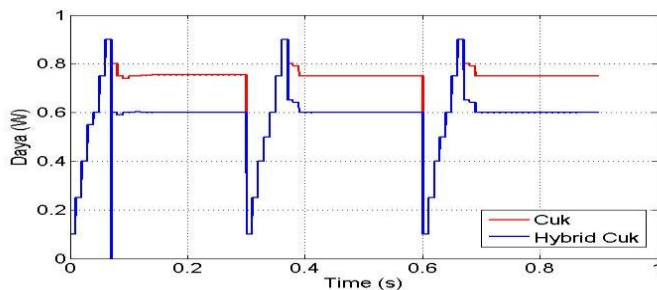
Gambar 13. Grafik daya hybrid cuk converter



Gambar 14. Grafik daya cuk converter



Gambar 15. Grafik Vo hybrid cuk dan cuk converter



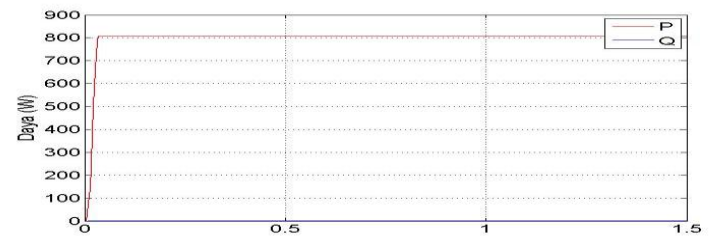
Gambar 16. Grafik duty ratio hybrid cuk dan cuk converter

Dari pengujian konverter *Hybrid Cuk* dan *Cuk*, didapatkan perbedaan *error* daya yang lebih besar pada konverter *cuk*. Mengamati osilasi tegangan output dari kedua tidak terlihat perbedaan yang jauh, tetapi terdapat riak yang lebih besar pada konverter *cuk* dibandingkan dengan konverter *hybrid cuk*.

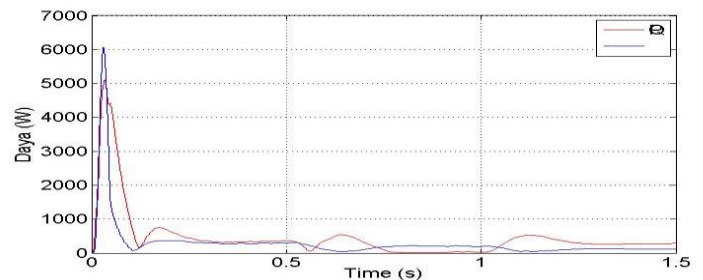
Disisi lain, ratio tegangan yang dapat dihasilkan pada konverter *hybrid cuk* lebih besar dibandingkan konverter *cuk* dengan duty ratio yang sama. Pada penelitian ini, tegangan keluaran yang dibutuhkan adalah 400 VDC untuk dihubungkan ke grid 220 VAC. Untuk menghasilkan tegangan 400 VDC, konverter *hybrid cuk* membutuhkan duty ratio sekitar 0.6 sedangkan konverter *cuk* membutuhkan duty ratio sekitar 0.75.

C. Pengujian Inverter Terkoneksi ke Grid

Pengujian dilakukan dengan cara mengukur daya yang dikirimkan ke beban dan grid. Beban yang digunakan adalah beban resistif sebesar 60 Ohm dengan tegangan sebesar 220 V, sehingga daya yang dibutuhkan oleh beban tersebut adalah 806.6 W.



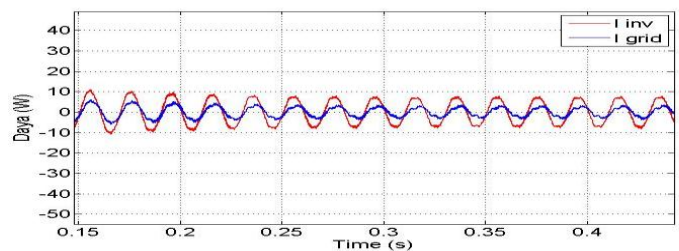
Gambar 17. Grafik Daya aktif dan reaktif beban



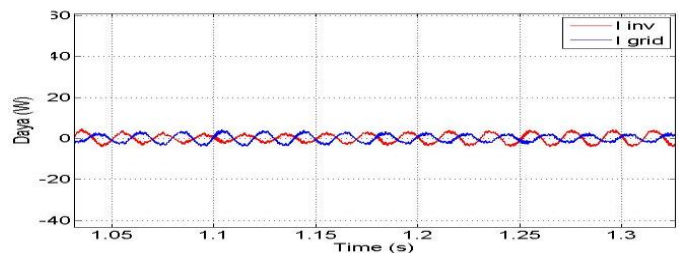
Gambar 18. Grafik Daya aktif dan reaktif inverter

Dari hasil pengujian sebelumnya bahwa pada intensitas 1000 W/m^2 , sistem PV menghasilkan 1180 W dengan menggunakan MPPT FFA dan P&O dan konverter *Hybrid cuk*. Setelah melewati inverter satu fasa, daya dari sistem PV mengalami penurunan daya menjadi 1165 W (turun sekitar 1.2%). Penurunan daya ini disebabkan parameter R (hambatan) yang ada pada komponen *switching*.

Ketika daya yang dihasilkan PV tidak mencukupi daya yang dibutuhkan oleh beban karena perubahan intensitas cahaya, maka grid akan menyuplai daya ke beban. Perubahan aliran daya pada grid (menyuplai atau disuplai) dapat dilihat dari perbedaan fasa antara arus grid terhadap tegangan grid.



(a)



(b)

Gambar 19. Perbedaan Fasa antara arus grid dan arus inverter

V. KESIMPULAN

1. MPPT dengan metode FFA dan P&O menghasilkan riak yang lebih kecil dibandingkan dengan metode P&O saja. Metode ini menghasilkan error daya yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan metode P&O.
2. *Hybrid cuk converter* menghasilkan daya yang lebih optimum dari pada *cuk converter*.
3. Metode FFA dan P&O menghasilkan daya yang lebih optimum dibandingkan dengan metode P&O saja.
4. Terdapat rugi-rugi pada saklar sehingga terdapat sedikit perbedaan daya masukan dan daya keluaran konverter DC-DC, turun sekitar 1.27%.
5. Untuk menghasilkan ratio tegangan yang sama, *hybrid cuk converter* membutuhkan *duty ratio* yang lebih kecil dari pada *cuk converter*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R, Sankarganesh. “*Maximum Power Point Tracking in PV System using Intelligence based P&O Technique and Hybrid Cuk Converter*”, International Conference in Emerging Trends in Science, Engineering and Technology, 2012
- [2] Safarudin, Mahfudz, “*Combining Simplified Firefly and Modified P&O Algorithm for Maximum Power Point Tracking of Potovoltaic System Under Partial Shading Condition*”, International Seminar on Intelligent Technology and Its Application, 2015.
- [3] Kurnia M. Pebriningtyas. “Penelusuran Daya Maksimum Pada Panel Photovoltaic Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Di Kota Surabaya”. Jurnal Teknik POMITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Suarabaya, 2013
- [4] Rahim, Nasrudin ABD, “*Hysterysis Current Control and Sensorless MPPT for Grid-Connected Photovoltaic Systems*”, IEEE1-4244-0755-9/07,2007
- [5] Ahmed Refaat, Ahmed Kalas and Ahmed Daoud, “*A Control Methodology of Three Phase Grid Connected PV System*”, Departmen of Electrical power Engineering Port Said University, Egypt, 2014